

Квантовые каскадные лазеры ТГц-диапазона в сильных магнитных полях

В. И. Гавриленко^{1*}, М. А. Фадеев¹, А. В. Антонов¹, К. А. Ковалевский¹, Р. Х. Жукавин¹,
А. А. Афоненко², Д. В. Ушаков²

¹Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, 7, д. Афонино, Кстовский р-н, Нижегородская обл., 603087, Россия

²Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, Минск, 220030, Беларусь

*evgenyantyushin@ipmras.ru

Приложение квантующего магнитного поля, нормального к слоям структуры квантового каскадного лазера (ККЛ), приводит к эффектам двух типов. «Нульмеризация» электронного спектра подавляет паразитное рассеяние и уменьшает пороговые токи ККЛ. Магнитное квантование приводит также к осциллирующей зависимости времени жизни на верхнем лазерном уровне от магнитного поля и соответствующей осциллирующей зависимости интенсивности лазерного излучения. В работе [1] было исследовано влияние магнитного поля до 5 Тл на излучательные характеристики ККЛ-диапазона 3,3–3,7 ТГц. В настоящей работе исследовался более низкочастотный (2,3 ТГц) ККЛ. Активная область ККЛ содержала 4 квантовые ямы (КЯ) GaAsAl_{0,15}Ga_{0,85}As в периоде структуры. Размеры лазерного полоска с волноводом металл-металл толщиной 10 мкм составляли 1,6 мм (длина) и 100 мкм (ширина). На рис. 1, а представлены измеренные зависимости интегральной интенсивности излучения от магнитного поля при различных токах. Видно, что токи 1 А и 1,1 А меньше порогового тока в нулевом магнитном поле. При всех токах излучение сильно подавляется при приближении к магнитному полю 5 Тл, кроме того, при различных токах просматривается минимум при $B = 2,8$ Тл. Подобные зависимости интенсивности излучения от магнитного поля естественно связать с взаимным расположением уровней Ландау, относящихся к верхнему и нижнему лазерному уровням. При пересечении n -м уровнем Ландау, относящимся к нижнему лазерному уровню, нулевого уровня Ландау, относящегося к верхнему лазерному уровню, включаются механизмы рассеяния на примесях, дефектах, неровностях интерфейсов и акустических фононах, приводящих к опустошению верхнего лазерного уровня и падению инверсии. Наиболее ярко этот эффект должен быть выражен для $n = 1$ при $B = \hbar\omega^*c/e = 5,6$ Тл ($m^* = 0,069m_0$ – эффективная масса электронов в КЯ GaAs), что с учетом конечной ширины уровней хорошо соответствует наблюдаемому подавлению интенсивности излучения ККЛ при приближении к 5 Тл (рис. 1, а). А наблюдаемый минимум интенсивности излучения при $B = 2,8$ Тл соответствует случаю $n = 2$.

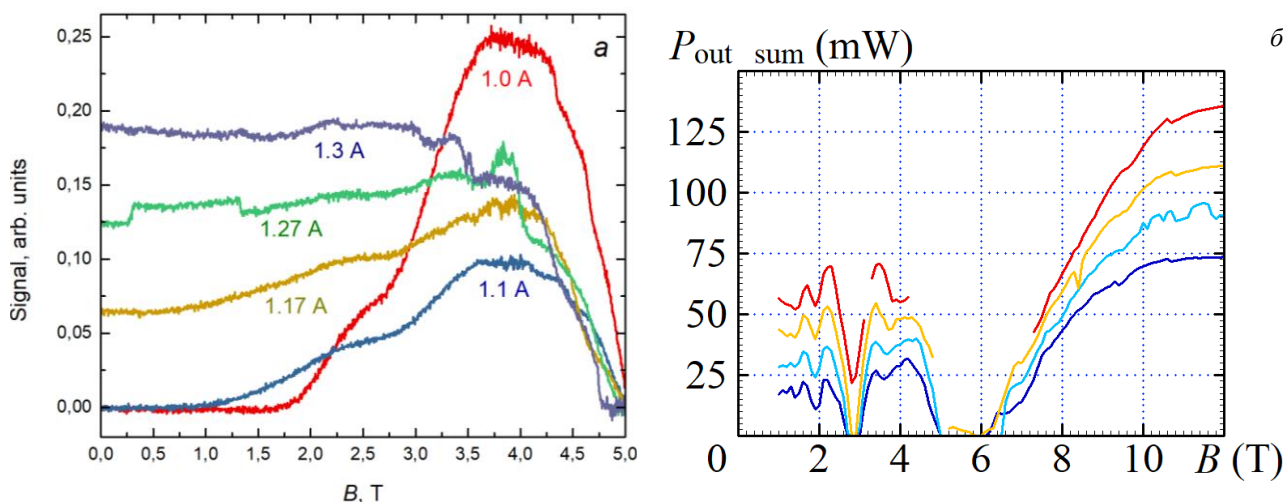


Рис. 1. Излучательные (L-B) характеристики ККЛ при различных рабочих токах лазера (а) ($T = 4,2$ К). Рассчитанная мощность генерации в зависимости от магнитного поля при плотностях тока 400, 500, 600, 700 А/см² (снизу вверх) (б)

Представляет интерес оценка влияния более сильного (до 12 Тл) магнитного поля на излучательные характеристики ККЛ. На рис. 1, б представлены рассчитанные в соответствии с работой [2] зависимости мощности излучения этого лазера от магнитного поля. Как видно из рисунка, расчет предсказывает полное подавление генерации от 5 до 6 Тл (случай $n = 1$) и более глубокий по сравнению с экспериментом минимум при 2,8 Тл (случай $n = 2$). Виден также минимум в районе 2 Тл, который очевидно соответствует $n = 3$. «Положительный» эффект магнитного поля для этого лазера заключается в кратном (по сравнению с мощностью в слабых магнитных полях) росте мощности излучения в полях 10–12 Тл.

Работа поддержана НЦФМ (проект «Исследования в сильных и сверхсильных магнитных полях»).

1. В.И. Гавриленко, Д.И. Курицын, М.А. Фадеев и др. // ФТП. 2024. Т. 56. С. 196–201.

2. Д.В. Ушаков, А.А. Афоненко, А.А. Дубинов и др. // Квантовая электроника. 2019. Т. 49. С. 913–918.